خراسان بزرگ: سال هشتم، شماره (۲۶)، بهار ۱۳۹۶
Quarterly bulletin of Greater Khorasan: Vol.8, No.26 Spring 2017

شناسایی پهنه‌های مناسب توسعه شهری با استفاده از سلول‌های خودکار (CA) و روش AHP – FUZZY در جهت کاهش آسیب‌پذیری لرزه‌ای؛ (نمونه موردی ناحیه ۳ منطقه ۳ مشهد)

فرشادنوریان[۱*]
رضاقاضی[۲]
سید سجاد عبدالله‌پور[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۷/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۲۹
شماره صفحات: ۱۳۰-۱۱۳

چکیده

تحلیل تناسب زمین برای توسعه شهری عمل بسیار مهمی است که برنامه ریزان شهری باهدف شناسایی اراضی مناسب و اولویت‌دار برای توسعه شهری به کار می‌گیرند. کلان‌شهر مشهد به‌واسطه وجود گسل‌های فعال بینالود و کشف رود و فرسودگی بیش از ۲۵ درصد نواحی و محلات آن، دارای آسیب‌پذیری بالای در برابر مخاطرات زلزله است. ازجمله نواحی که درگیر گسترش فیزیکی و جمعیتی است و به دلیل فرسودگی و مجاورت با گسل در مواجه با زلزله بسیار آسیب‌پذیر است، ناحیه ۳ از منطقه ۳ شهر مشهد است. هدف مقاله حاضر شناسایی پهنه‌های مناسب توسعه شهری در جهت کاهش آسیب‌پذیری لرزه‌ای در ناحیه مذکور است. روش بکار گرفته‌شده، توصیفی-تحلیلی و جمع‌آوری داده‌ها، به‌صورت کتابخانه‌ای و میدانی صورت گرفته است. شبیه‌سازی توسعه آتی از روش CA-Markov در نرم‌افزار IDRISI 17 صورت گرفته و از مدل ترکیبی FUZZY-AHP و نرم‌افزارهای ARCGIS و Expert Choice برای محاسبه وزن زیرمعیارها و فازی سازی لایه‌ها بهره برده شده است. ارزیابی آسیب‌پذیری محدوده در برابر زلزله نیز با استفاده از روش WOI در نرم‌افزار ARCGIS صورت گرفت و وزن دهی و اولویت‌بندی زیرمعیارهای آسیب‌پذیری بر اساس روش آزمون فریدمن و در نرم‌افزار SPSS بر اساس نظرات کارشناسی اخذشده در پرسشنامه‌ها انجام شد. بر اساس نتایج، حدود ۸۵ درصد از سطح محدوده دارای آسیب‌پذیری متوسط رو به بالا می‌باشند. همچنین پیش‌بینی رشد و توسعه محدوده بر اساس روند سال‌های گذشته و شبیه‌سازی گسترش کالبدی سال ۱۴۰۰ با استفاده از روش CA-MARKOV، نشان می‌دهد گسترش محدوده در بخش‌های شمالی، شمال غربی و شرق محدوده خواهد بود که این گسترش در بخش‌هایی اتفاق افتاده که دارای آسیب‌پذیری متوسط و زیاد در برابر زلزله می‌باشند. همچنین پیش‌بینی پهنه‌های توسعه با استفاده از روش FUZZY_AHP، نشان داد از بین، زیرمعیارها توسعه، قابلیت اراضی (۰,۲۱۸)، توپوگرافی (۰,۱۸۵) و فاصله از گسل (۰,۱۴۵) بیشترین اولویت را از بین سایر زیرمعیارها دارند و پهنه‌های مناسب توسعه بخش‌های شمال-شرقی و شمال غربی محدوده است.

واژه های کلیدی: پهنه‌های مناسب توسعه شهری، سلول‌های خودکار، روش FUZZY_AHP، آسیب‌پذیری لرزه‌ای، ناحیه ۳ از منطقه ۳ شهر مشهد

۱ . دانشیار دانشکده شهرسازی، پردیس هنرهای زیبا، دانشگاه تهران (نویسنده مسئول) fnoorian@ut.ac.ir
۲ . کارشناس ارشد شهرسازی، پردیس هنرهای زیبا، دانشگاه تهران r91.ghazi@gmail.com
۳. کارشناس ارشد شهرسازی، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنرتهران sajjad.abdollahpoor@ymail.com

مقدمه

رشد نواحی شهری که مناطق وسیعی از سطح زمین را شامل شده است، امروزه در عرض‌های پایین و به‌ویژه در کشورهای درحال‌توسعه که رشد شهرها در آن‌ها از اروپا و امریکای شمالی سبقت‌گرفته است، مسائل و مشکلاتی را برای شهرها به همراه داشته است (Cheng tai,1999). گرچه مناطق شهری چهار درصد از سطح خشکی‌های زمین را تشکیل می‌دهند ولی توسعه نامنظم شهری می‌تواند سبب تغییرات گسترده‌ای در شرایط محیطی اطراف شوند. توسعه نامنظم و بدون برنامه شهری اثرات مخربی بر شهرها و محیط اطراف خود می‌گذارند (Batisani and Yarnal,2008: 2). در این بین اغلب تئوری‌های مکان‌یابی و مکان گزینی به کاربری‌های تجاری و صنعتی و به‌طورکلی کاربری‌ها توجه نموده و عوامل و متغیرهای اساسی دیگر را کمتر مدنظر قرار می‌دهند (قرخلو و همکاران، ۱۳۸۹). ازجمله مهم‌ترین مسائل و مشکلات رشد و گسترش فیزیکی بی‌برنامه شهرها عبارت‌اند از: مخاطرات طبیعی و زیست‌محیطی نواحی شهری نظیر، از بین رفتن فضاهای سبز، باغ‌ها و اراضی کشاورزی، تغییرات شدید کاربری‌ها، آلودگی هوا، خاک و منابع آب، آسیب‌پذیری در برابر خطر زلزله، سیل، رانش زمین و ... است (زمانی و همکاران،۱۳۹۳: ۱۰). دراین‌بین زلزله یکی از فرآیندهای ژئومورفیک درونی است که آثار تخریبی زیادی به همراه خواهد داشت و برخی از شهرهای کشور ما را نیز در طول تاریخ دچار آسیب‌های فراوان کرده است و بی‌توجهی به آن در مکان گزینی شهرها اثرات زیان‌باری به همراه خواهد داشت (نگارش، ۱۳۸۲: ۱۳۹). کلان‌شهرهای امروزی، در نقاط مختلف دنیا به دلایل متعدد ازجمله عدم شناسایی پهنه‌های مناسب توسعه با توجه به آسیب ناشی از مخاطرات طبیعی، در معرض آسیب‌پذیری شدید قرار دارند. این مخاطرات آسیب‌های جانی و مالی فراوانی را با خود به همراه دارند که نیازمند پیشگیری‌ها و اقدامات مناسب می‌باشند. حال‌آنکه این موضوع در کشور ایران به دلیل قرارگیری در کمربند گسل آلپ-هیمالایا از اهمیت خاصی برخوردار است (کریمی و نجفی، ۱۳۹۴: ۸).

کلان‌شهر مشهد مرکز و بزرگ‌ترین شهر استان خراسان رضوی است که طی دهه‌های اخیر رشد جمعیتی بسیار بالا و به‌تبع آن توسعه فیزیکی قابل‌توجهی داشته است. شهر مشهد طبق مطالعات طرح مجموعه شهری در پهنه آسیب‌پذیری بالای زلزله قرار دارد. یکی از نواحی شهر مشهد که طی دهه‌های اخیر رشد فیزیکی چشم‌گیری داشته و به‌واسطه وجود اراضی خالی بسیار داخل خود همچنان دارای گسترش فیزیکی بالا است، ناحیه ۳ منطقه ۳ شهر است. ناحیه مذکور در سال‌های گذشته دچار دگرگونی‌های کالبدی و فضایی ناشی از توسعه بی‌رویه و البته خارج از ضابطه شهرسازی و قانونی شده است. فرسودگی بافت سبب می‌شود در هنگام وقوع بحران زلزله دچار آسیب‌های فراوان مالی و جانی شود؛ بنابراین گسترش فیزیکی و جمعیتی شهر و آسیب‌پذیری لرزه‌ای بالای آن، لزوم تأمین و هدایت زمین‌های مناسب برای توسعه آتی ناحیه به‌نحوی‌که کمترین آثار زیان‌بار اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی به هنگام مواجه با زلزله دارد را به بار آورد، ضروری به نظر می‌رسد و اهمیت ارزیابی نواحی مناسب برای توسعه بهینه شهر درجهت کاهش خطرپذیری لرزه‌ای اثبات می‌شود. ازاین‌رو هدف مقاله حاضر شناسایی پهنه‌های مناسب توسعه شهری در جهت کاهش آسیب‌پذیری زلزله است. برای تحقق این امر، دو روند دنبال خواهد شد. ابتدا با فرض اینکه رشد و گسترش محدوده بر اساس روند دهه‌های گذشته باشد، آسیب‌پذیری مناطقی که بر اساس روند گسترش دهه‌های اخیر، به محدوده اضافه خواهند شد مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. در رویکرد دوم، آسیب‌پذیری پهنه‌های مناسب توسعه آتی محدوده که بر اساس شاخص‌های مورد تأکید در شناسایی پهنه‌های مناسب توسعه آتی در پژوهش‌های گوناگون شناسایی می‌شود، مورد ارزیابی قرار می‌گیرد و بر اساس آسیب‌پذیری محدوده سنجش می‌شود. درنهایت پهنه‌های مناسب توسعه برای کاهش خطر زلزله، با جمع‌بندی از دو روند مذکور، ارائه خواهد شد. بر این اساس، مقاله حاضر دارای چهار بخش اصلی است. بخش اول: بر اساس شاخص‌های آسیب‌پذیری لرزه‌ای، میزان آسیب‌پذیری نمونه موردمطالعه ارزیابی می‌شود و پهنه‌های آسیب‌پذیر با درجات مختلف برای محدوده شناسایی خواهد شد. بخش دوم: با توجه به رشد شهری نمونه موردمطالعه در دو دوره زمانی مختلف، رشد و گسترش آتی نمونه موردمطالعه بر اساس روند موجود با استفاده از روش CA-Markov، شبیه‌سازی خواهد شد تا آسیب‌پذیری پهنه‌های توسعه آتی منتج از روند گسترش دهه‌های اخیر، مشخص شود. بخش سوم: در این بخش، پهنه‌های مناسب توسعه آتی با توجه به شاخص‌ها و معیارهای مناسب توسعه در قالب روش FUZZY_AHP برای محدوده موردمطالعه شناسایی می‌شود. بخش چهارم: درنهایت با ارزیابی از تمامی نقشه‌های خروجی بخش‌های قبلی (نقشه توسعه آتی: خروجی از روش CA-Markov، نقشه کلی آسیب‌پذیری ناحیه در برابر زلزله، نقشه پهنه‌های مناسب توسعه آتی ناحیه)، پهنه‌های مناسب توسعه آتی برای نمونه موردمطالعه پیشنهاد خواهد شد. ازاین‌رو مقاله حاضر در پی پاسخ به پرسش‌های: ۱. میزان آسیب‌پذیری نمونه

موردمطالعه در برابر خطر زلزله به چه میزان خواهد بود؟ ۲. رشد و گسترش آتی محدوده با توجه به روند سال‌های گذشته، چه آسیب‌پذیری برای پهنه‌های توسعه آتی به همراه دارد؟ ۳. مهم‌ترین زیرمعیارهای شناسایی پهنه‌های مناسب توسعه آتی چه می‌باشند؟ ۴. پهنه‌های مناسب توسعه آتی جهت کاهش آسیب‌پذیری ناحیه در برابر زلزله چه است؟

پیشینه تحقیق

ازجمله تحقیقات انجام‌شده داخلی درزمینه آسیب‌پذیری در برابر زلزله، می‌توان به مقاله آسیب‌شناسی و پهنه‌بندی لرزه‌ای بافت شهری (مطالعه موردی: شهرک ولیعصر تبریز) اشاره کرد. این مقاله می‌کوشد، با روش توصیفی تحلیلی و استفاده از هشت شاخص (فاصله از گسل، کیفیت بنا، تراکم ساختمانی، تراکم جمعیت، درجه محصوریت، کاربری زمین، سطح سرویس ترافیک و فاصله از مراکز درمانی) سطوح و پهنه‌های آسیب‌پذیری لرزه‌ای را در بافت شهرک ولیعصر تبریز شناسایی نماید. نتایج تحقیق نشان می‌دهد درصد بالایی (حدود ۶۰ درصد) از شهرک در پهنه آسیب‌پذیری زیاد قرار دارد (علی‌اکبری و میرایی،۱۳۹۴). تحلیل شاخص‌های آسیب‌پذیری در بافت‌های فرسوده شهری با رویکرد مدیریت بحران زلزله (مطالعه موردی: محله سیروس تهران). در این تحقیق بر نقش مؤثر شاخص‌های برنامه‌ریزی شهری در کنار شاخص‌های سازه‌ای برای مقابله با زلزله تأکید می‌شود. نتایج نشان می‌دهد وسعت و پوشش جمعیتی نقاط با آسیب‌پذیری بالا و بسیار بالا بیشتر است و در کل، محدوده با توجه به همه عوامل مورد تحلیل، در برابر زلزله بسیار آسیب‌پذیر است (پوراحمد و همکاران، ۱۳۹۵) در عرصه بین‌المللی و مطالعات انجام‌شده در دیگر کشورها نیز می‌توان به برنامه‌های سازمان ملل و مؤسسات بین‌المللی و منطقه‌ای اشاره نمود. ازجمله این موارد می‌توان به کتاب راهنمای ارتقاء استفاده از اطلاعات مخاطرات طبیعی در برنامه‌ریزی کاربری زمین اشاره کرد. اهداف اصلی این کتاب راهنما عبارت‌اند از: بهبود درک و آشنایی کشورهای عضو از نقش برنامه‌ریزی کاربری زمین در کاهش خطرات مخاطرات طبیعی، پررنگ کردن اهمیت تلفیق اطلاعات مخاطرات طبیعی در برنامه‌ریزی کاربری زمین و نحوه بهره‌گیری از این اطلاعات در برنامه‌ریزی کاربری زمین، ارائه نمونه‌هایی موفق از کشورهای عضو و ... اشاره کرد (Regional consultative Committee on Disaster Manage ment,2011). از پژوهش‌های دیگر انجام‌شده در سطح جهان می‌توان به کار گالدروسی و منونی در سال ۲۰۱۵، تحت عنوان بهبود نقش برنامه‌ریزی شهری برای کاهش مخاطرات موجود و آینده اشاره کرد. این تحقیق بر اساس خروجی سه پروژه تحقیقاتی اروپایی قرار دارد. در این تحقیق، تلاش شده است تا یک فرایندی مشخص و روشن از ارزیابی مؤلفه‌های تأثیرگذار مخاطرات طبیعی در برنامه‌ریزی کاربری زمین ارائه شود تا مدیران شهری بتوانند ارزیابی مناسبی از وضع موجود کاربری‌ها در برابر مخاطرات طبیعی داشته باشند (Galderisi & Menoni, 2015).

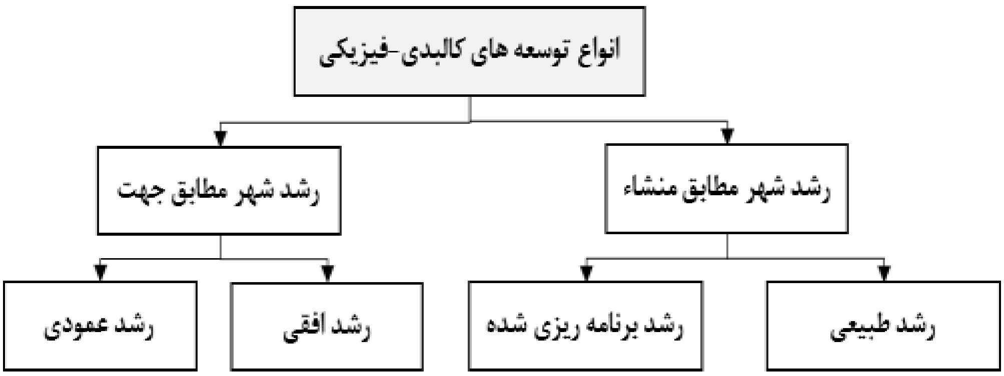
ازجمله مطالعاتی که درزمینه تعیین جهات توسعه آتی شهر بر مبنای دیدگاه علمی صورت گرفته است، می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد: حسینی و همکاران (۱۳۹۱)، بامطالعه روند توسعه کالبدی–فضایی شهر رشت و عوامل مؤثر در آن، به تعیین جهت‌های مناسب توسعه آتی آن پرداخته است و با تهیه لایه‌های اطلاعاتی مختلف ازجمله، قابلیت اراضی، سطوح ارتفاعی، شیب، پایداری زمین، شبکه‌های ارتباطی، گورستان، رودخانه، شهرک صنعتی و نقاط روستایی با استفاده از AHP در GIS اراضی مناسب توسعه آتی شهر مشخص شد. مظفری و اولی زاده (۱۳۸۷)، به بررسی وضعیت توسعه فیزیکی شهر سقز و تعیین جهات بهینه توسعه آتی آن پرداختند. بدین‌صورت که باروی هم اندازی نقشه‌های توپوگرافی، زمین‌شناسی، توانایی اراضی، شیب، جهت شیب، گسل، شبکه ارتباطی، خطوط انتقال برق فشارقوی، شبکه آب‌های سطحی، سکونتگاه‌های روستایی با اعمال وزن مربوطه به نقشه نهایی مشخص‌کننده جهات بهینه توسعه آتی شهر سقز دست پیداکرده است. موسوی و یزدانی (۱۳۹۴)، پس از مطالعه معیارهای مؤثر در فرایند توسعه شهری، سه نقشه محدودیت (اراضی ساخته‌شده، صنعتی و ۵۰ متری سطوح آبی) و ۱۲ نقشه برگ خرید (ارتفاع، شیب، جهت شیب، فاصله از جاده، فاصله از شهر، فاصله از صنایع، فاصله از اراضی زراعی و باغی، فاصله از اراضی بایر، فاصله از سطوح آبی، قابلیت‌های کاربری زمین و فاصله از گسل) و وزن دهی به آن‌ها به روش AHP، نواحی مناسب برای توسعه آتی شهر تبریز در محدوده بین صفرتا ۲۵۵ به دست آمد.

مبانی نظری

❖ توسعه آتی شهرها

گسترش بی‌رویه شهرها یک مشکل جهانی است و پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۲۵، افزون بر ۶۵ درصد جمعیت جهـان در شهرها زندگی کنند (Kaya, 2006: 19). درعین‌حال که افزایش سریع پراکندگی شهری، آثـار زیان‌باری در محیط برجای می‌گذارد (Jaeger et al, 2010: 397). طی دهه ۱۹۹۰–۲۰۰۰ میلادی افزایش شدیدی در حجم نوشته‌ها و

مقالات در مورداندازه‌گیری الگوهای رشد شهری رخ داد. این حجم گسترده مباحث در مورد توسعه شهری غالباً به دلیل پراکنش شهری بود که جوانب مختلف الگوهای توسعه شهری را در برمی‌گرفت (Qing and et al,2007:4). گسترش کالبدی شهری باعث مصرف بی‌رویه زمین‌های اطـراف شهر، تخریب زمین‌های کشاورزی، افزایش سطوح نفوذناپذیر در نواحی شهری و افـزایش احتمـال بـروز سـیل، افـزایش هزینه تأسیسات و زیرساخت‌ها و ناکارآمدی آن‌ها، کاهش کارایی انـرژی، ناکارآمـدی سیستم‌های حمل‌ونقل عمـومی، جداسازی اجتماعی و تخریب زیست‌محیطی ازجمله آلودگی هوا و چنـدپاره شـدن زیست‌بوم حیات‌وحش می‌شود (Stone, 2008:694)؛ بنابراین برای مقابله یا حداقل، کاستن از این نوع اثرات توسـعه شـهری، هـدایت این روند به سمت مکان‌های بهینه و مناسب ضروری است و تعیین نواحی مناسب برای توسعه شهری ازجمله راهکارهـای مفید در این زمینه است. بدین منظور مهم‌ترین مسئله‌ای که در برابر توسعه ٔ شهری قرار می‌گیرد، مکان توسعه ٔ آتی آن‌ها است (Merlin, 2000: 235). تعیین و انتخاب مکان بهینه برای توسعه ٔ آتی شهری، نیاز به رعایت اصول و معیارهـای جهت‌یابی بهینه توسعه دارد. در مکان‌یابی، تلاش بر آن است تا عوامل مختلف در ارتباط با یکدیگر قرار گیرند (Zhao,2010: 246). درک فرایند توسعه شهری در برنامه‌ریزی توسعه شهری و مدیریت توسعه شهری پایدار نقش تعیین‌کننده‌ای دارد (Cheng & Masser, 2004:1). از نگرش جغرافیای شهری به نظر می‌رسد که اصطلاح مناسب برای فرآیندی که طی آن‌هم کالبد شهری رشد می‌کند و هم فعالیت‌ها و کاربری‌های شهری در این فرآیند دچار تحول می‌شوند و نیز در محیط اطراف تغییراتی ایجاد می‌شود، توسعه کالبدی-فضایی» باشد (حاتمی نژاد و همکاران،۱۳۹۱: ۵۶). ازجمله مفاهیم مرتبط با توسعه شهری عبارت‌اند از: مکان‌یابی فعالیتی است که قابلیت‌ها و توانایی‌های یک منطقه را ازلحاظ وجود زمین مناسب و کافی و ارتباط آن با سایر کاربری‌ها و تسهیلات شهری برای انتخاب مکانی مناسب برای کاربری خاص مورد تجزیه‌وتحلیل قرار می‌دهد (تقوایی و همکاران،۱۳۹۲: ۳۳). تحلیل تناسب کاربری زمین به تعیین مناسب‌ترین الگوی فضایی برای کاربری‌های زمـین آتـی مطـابق نیازمندی‌ها، اولویت‌ها یا پیش‌بینی برخی فعالیت‌ها کمـک می‌کند (Malczewski, 2004: 4). ارزیـابی تناسـب زمـین، پیش‌نیاز برنامه‌ریزی و توسعه کاربری زمین است و اطلاعاتی را در زمین محدودیت‌ها و فرصت‌های کاربری زمین فراهم می‌آورد و بنابراین راهنمای تصمیماتی است کـه درزمینه ٔ اسـتفاده بهینـه از منـابع زمـین اتخـاذ می‌گردد (Aminzadeh & Mokarram,2007: 508). تحلیل تناسب کاربری زمین مهم‌ترین اقدام باهدف تعیین مناسب‌ترین الگـوی فضـایی برای کاربری زمین آتی است. در سال‌های اخیر، از تحلیل تناسب کاربری زمین برای ارزیابی زمین کشاورزی، تعیین بوم‌گونه‌های جانوری و گیاهی، ارزیابی و برنامه‌ریزی چشم‌انداز، برنامه‌ریزی منطقه‌ای و ارزیـابی تـأثیرات زیست‌محیطی استفاده‌شده است.



تصویر ۱. انواع توسعه‌های کالبدی شهری

ماخذ: (حاتمی نژاد و همکاران،۱۳۹۱: ٥٦)

آسیب‌پذیری

آسیب‌پذیری عبارت است از میزانی از خسارات به یک عنصر معین در معرض خطر یا مجموعه چنین عناصری که در اثر وقوع یک عامل خطرآفرین ناشی می‌شود. آسیب‌پذیری پدیده‌ای ایستا نیست بلکه به‌عنوان یک فرآیند پویای جامعی در نظر گرفته می‌شود که احتمال ضرر و زیان عوامل فوق را تغییر می‌دهد و بر آن‌ها اثر می‌گذارد (رضویان و همکاران، ۱۳۹۰). آسیب‌پذیری به شرایطی اطلاق می‌شود که به‌واسطه عوامل فیزیکی، اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی تعیین و قابلیت تأثیرپذیری جوامع را در برابر صدمات ناشی از وقوع خطرات بالا برد. آسیب‌پذیری خصیصه‌ای از سیستم زوجی انسانی- محیطی و پدیده و مفهومی است توسعه‌ای، چندبعدی، میان‌مقیاسی، بین‌رشته‌ای و سرشار از تعاملات و پیوندهای پیچیده. لذا مفهوم آسیب‌پذیری چیزی بس فراتر از نگرش رایج به آن‌که مبتنی بر ایده‌های زیان فیزیکی و تأثیر مخاطرات است (شریف زادگان و فتحی،۱۳۸۸). بر اساس برنامه راهبردی بین‌المللی کاهش بلایای سازمان ملل، کلیه مخاطرات دو منشأ اصلی دارند: مخاطرات طبیعی و مخاطرات ناشی از فناوری (Godschalk,2000). می‌توان اذعان داشت مخاطراتی که خود انسان ایجاد کرده به همان اندازه یا بیش از آن چیزی است که از عوامل طبیعی بر وی تحمیل می‌شود (Rashed,2003).

در ادامه عوامل مؤثر در افزایش آسیب‌پذیری شهرها به‌طور مختصر ارائه‌شده است. افزایش تراکم در مناطق آسیب‌پذیر و تعدد طبقات ساختمانی: تراکم جمعیت به دنبال خود تراکم ساختمانی و کمبود فضاهای باز در زمان ازدحام، مختل شدن شرایط امدادرسانی، بسته‌شدن معابر و کاهش امکان گریز از موقعیت‌های خطرناک، کاهش دسترسی به مناطق امن، دشواری نجات مجروحان به دلیل مسدود شدن راه‌های ارتباطی و ...را در پی خواهد داشت (عزیزی واکبری، ۱۳۸۷: ۲۷). همچنین تعدد طبقات ساختمانی شهر نیز بر میزان آسیب‌پذیری و مسدودشدن شبکه معابر به‌ویژه در مناطقی که کمبود دسترسی اصلی و شبکه معابر کم‌عرض و ...دارند می‌افزاید (عبدالهی، ۱۳۸۳: ۳۶۱) کمبود و نبود فضاهای باز کافی در نواحی پرخطر، فضای باز به‌عنوان یک عامل متعادل‌کننده و تعمیم دهنده در شهر به کار می‌رود که مکملی برای فضای سبز است. وجه مشترک فضای باز، به‌صورت فضای ارتباط‌دهنده فعالیت‌های مختلف که به‌صورت استخوان‌بندی خاص درون‌شهری نمایان می‌شود بخشی از ساختار یا فرم شهری را مشخص می‌سازد (نوذری، ۱۳۸۳: ۴۹). بدین ترتیب، طراحی مناسب فضاهای باز در بافت‌های شهری، یکی از مهم‌ترین راهکارها برای مقابله با خطر محسوب می‌شود. ساخت‌وساز نامناسب درشیب‌های زیاد، سبب آسیب‌پذیری بیشتر می‌شود، مصالح ساختمانی نامناسب، بی‌کیفیت و کم‌دوام، همچنین عمر زیاد ساختمان‌ها، بر آسیب‌پذیری بیشتر در هنگام وقوع بحران تأثیر می‌گذارند و آثار مخرب آن را تشدید می‌کنند (پورمحمدی و دیگران،۱۳۹۲) نارسایی در شبکه ارتباطی، شبکه‌های ارتباطی یک شهر را می‌توان از مهم‌ترین ویژگی‌های آن دانست که بازتاب کالبدی مفهوم نیاز دسترسی هستند. گوتنبرگ ساختار شهری و رشد را در مفهوم دسترسی جستجو می‌کند و معتقد است که جوامع تلاش می‌کنند تا بر فاصله غلبه کنند (زبردست و محمدی، ۱۳۸۴: ۸). ساخت‌وساز در جوار کاربری‌های ناسازگار و تجمیع کاربری‌های حساس شهر در محدوده خاصی از شهرها موجب افزایش آسیب‌پذیری می‌شود (ملکی، ۱۳۹۱: ۱۷۷). اگر در تعیین کاربری‌های شهری، همجواری رعایت شود و کاربری‌های ناسازگار در کنار یکدیگر نباشند، امکان تخلیه سریع فراهم می‌شود (عسکری و دیگران، ۱۳۸۱: ۶۶). توسعه در مناطق نامناسب و در معرض خطر، در مناطق شهری، ضعف برنامه‌ریزی، طراحی نامناسب ساختمان‌ها، بی‌دقتی در صحت اجرای پروژه‌ها، بی‌توجهی به تعمیر و نگهداری و اسکان در اراضی در معرض خطر، عوامل مهمی در بروز حوادث شده‌اند (رضویان، ۱۳۸۱: ۳۲). بافت و شکل نامناسب شهر: واکنش انواع بافت‌های شهری در هنگام وقوع سانحه، درجات متفاوتی از آسیب‌پذیری دارد و در مراحل بعد از وقوع بحران، در قابلیت‌های گریز و پناه گیری ساکنان، در امکانات کمک‌رسانی، در چگونگی بازسازی و حتی اسکان موقت، دخالت مستقیم دارد. دامنه تأثیر این ویژگی، نه‌تنها در طراحی ساختمان، بلکه در طراحی شهری و مدیریت بحران نیز گسترده شده است و اهمیت بسیار دارد (قربانی و باقری، ۱۳۸۵: ۱۲۰۴).

❖ سلول‌های خودکار (CELLULAR AUTOMATA) و زنجیره مارکوف

سلول‌های خودکار، آرمانی ریاضی گونه از سیتم‌های فیزیکی و پویا است که در آن فضا و زمان مجزا بوده و کمیت‌های فیزیکی مجموعه‌ای محدود از ارزش‌های مجزا را می‌پذیرند (Sietchiping, 2004: 64). بتی مدل سلول‌های خودکار را این‌گونه معرفی می‌کند: «فرایندهای مصنوعی برای مکان گزینی فعالیت‌های شهری بر اساس قوانین ساده مربوط به شرایط محلی که باعث اشاعه الگوهای جهانی پیچیده‌ای شده است و نظام فضایی شهرها را بازتاب می‌دهد» (Batty, 1997). سلول‌های

خودکار را در غالب اصلی آن می‌توان به‌صورت ایده اصلی در مدل‌سازی پویای شهری با استفاده از CA، سیستم خودسازمان‌ده است بدان معنا که اجزای سیتم گرایش به ایجاد الگوهای منظم به‌صورت خودبه‌خود و اغلب در مقیاس وسیع دارد (Sietchiping, 2004: 64;Sembolini, 1997). ایده اصلی در مدل‌سازی پویای شهری با استفاده از CA، سیستم خودسازمان‌ده است بدان معنا که اجزای سیستم گرایش به ایجاد الگوهای منظم به‌صورت خودبه‌خود و اغلب در مقیاس وسیع دارد (Torrens,2001). عناصر مدل سلول‌های خودکار (CA) عبارت‌اند از: شبکه سلولی: فضایی که CA در آن وجود دارد شبکه CA نام دارد و در طول زمان، تکامل (تغییر) می‌یابد. این شبکه می‌تواند ۱ تا N بعد داشته باشد؛ در مدل‌سازی سیستم شهری با استفاده از مدل CA، در تعریف شبکه سلولی، انتخاب شکل و مقیاس سلول بر خروجی‌های مدل، بسیار تأثیرگذار است. فضای سلولی قابلیت این رادارند که به شکل موم عسل یا حتی اشکال سه‌بعدی تبدیل شوند (Norte pinto,Pais Antunes, 2007:390). وضعیت سلولی: وضعیت سلول، نشان‌دهنده یک ویژگی‌های سیستم است. هر سلول در دوره زمانی تنها می‌تواند یک وضع از مجموعه وضعیت‌های موجود را داشته باشد. این وضعیت می‌تواند عددی برای نشان دادن یک ویژگی باشد. در مدل سلول‌های خودکار شهری، وضعیت سلول‌ها، انواع کاربری اراضی و پوشش اراضی، همچون شهر و روستا یا هر نوع کاربری اراضی نشان می‌دهد و یا ممکن است نمایانگر ویژگی‌های دیگر محدوده شهری از مقوله‌های اجتماعی از جمعیت باشد (یان لئو، ۱۳۹۱: ۷۳). همسایگی: همسایگی به مجموعه‌ای از سلول‌ها اطلاق می‌شود که سلول موردنظر با آن‌ها در تعامل است. زمان: طبق تعریف سلول‌های خودکار، وضعیت تمامی سلول‌ها به‌طور هم‌زمان با گذشت زمان در تمامی مسیرها به‌روز می‌شوند. زمان در CA ناپیوسته است. مدت مراحل زمانی در CA های مختلف متفاوت است، شکاف‌های زمانی بیشتر، ناپیوستگی بیشتر را در بردارد و برعکس. سلول‌ها در CA، در دو مرحله زمانی T و T+1 وضعیت‌های مختلفی خواهند داشت؛ قوانین انتقال: نشان می‌دهد چگونه یک سلول در واکنش به وضعیت کنونی خودش و وضعیت سلول‌های اطرافش تغییر می‌کند. در یک سلول خودکار دقیق، قوانین تبدیل هماهنگ بوده و به‌طور هم‌زمان به‌تمامی سلول‌های سیستم اعمال می‌گردند (Cheng & and et al, 2004). اصل توسعه عمومی در سلول‌های خودکار را می‌توان این‌گونه عنوان کرد: «اگر چیزی در همسایگی یک سلول اتفاق افتد پس چیز دیگری، در دوره زمانی بعد، در سلول اتفاق خواهد افتاد» (Batty,1997).

زنجیره مارکوف توسط ریاضیدان روسی به نام Andrei A.Markov در سال ۱۹۰۷ ارائه شد. زنجیره مارکوف یکسری از مقادیر تصادفی است که احتمالات در یک‌فاصله زمانی به تعداد آن مقدار در زمان گذشته اضافه می‌شود (Muller,1994). درروش زنجیره‌های مارکوف، تصاویر ماهواره‌ای پوشش زمین می‌تواند بر اساس ماتریس احتمال تغییرات مورد تجزیه‌وتحلیل قرار می‌گیرد. زنجیره‌های مارکوف و مکان‌یابی بر اساس تحلیل‌های (CA) این روش بر اساس تلفیق مدل اتوماسیون سلولی چندمعیاره برای پیش‌بینی روند تغییرات کاربری و پوشش اراضی می‌پردازد. مدل (CA-Markov) برای تشریح و توصیف ارتباط میان توسعه شهر و فاکتورهای آن استفاده می‌شود. این محاسبه احتمال تغییر از طبقه‌بندی کاربری زمین بر اساس مناسبت، احتمال انتقال از یک طبقه به طبقه دیگر و تعداد توسعه همسایگی صورت می‌گیرد. ارزیابی در این مدل به‌وسیله مقایسه الگوی تغییرات کاربری زمین با داده‌های ادواری کاربری زمین اتفاق می‌افتد (Kityuttachai & et al,2013).

در یک جمع‌بندی کلی از سوابق نظری و تجربی مربوط به این موضوع می‌توان این‌گونه بیان داشت که باوجوداینکه مطالعات و پژوهش‌های درزمینه آسیب‌پذیری لرزه‌ای و شناسایی پهنه‌های مناسب توسعه با استفاده از مدل‌ها و ابزارهای مختلف، در داخل و خارج از کشور صورت گرفته است، مشخص است که هر یک از آن‌ها از دیدگاه‌های متفاوت به بررسی توسعه شهر، الگوهای توسعه شهری و همچنین مدل‌سازی و شبیه‌سازی رشد شهر با استفاده از یک مدل خاص پرداخته‌اند، لذا در این پژوهش با بهره‌گیری از کلیه تجارب، بررسی‌های نظری و با استفاده از مدل‌های کمی کاربردی و نوین مرتبط با موضوع، به شناسایی پهنه‌های مناسب توسعه با تأکید بر کاهش آسیب‌پذیری خطر زلزله پرداخته خواهد شد که پایه ارزیابی آن روند رشد و توسعه شکل‌گرفته در دهه‌های اخیر برای ناحیه موردمطالعه است. با توجه به بررسی‌های انجام‌شده، معیارها و زیرمعیارهای پژوهش در جدول ۱، ارائه‌شده است.

جدول ۱. معیارها و زیرمعیارهای آسیب‌پذیری و پهنه‌های مناسب توسعه آتی

معیار	زیرمعیار	تعریف عملیاتی	منبع
معیار و زیرمعیارها آسیب پذیری نواحی شهری در برابر زلزله			
معیار	**زیرمعیار**	**تعریف عملیاتی**	**منبع**
کالبدی	عرض معابر	هر چه عرض معابر بیشتر باشد آسیب پذیری کاهش می‌یابد	(لطفی،۱۳۹۱)، (محمدی، مغوان،۱۳۹۵) (زمانی و همکاران،۱۳۹۱) (کریمی و نجفی،۱۳۹۴) (مشکینی و دیگران،۱۳۹۲) (علی‌اکبری و میرایی،۱۳۹۴) (سلطانی و همکاران،۱۳۹۳) (امینی و برومند،۱۳۹۰)
	نوع سازه(مصالح)	مواد و مصالح به کار رفته در ساختمان مقاوم‌تر باشد(بتن و فلز) آسیب پذیری کاهش می‌یابد.	
	عمر بنا	مدت زمان ساخت بنا کمتر باشد، آسیب پذیری کاهش می‌یابد.	
	کیفیت ابنیه	بناهای نوساز آسیب پذیری کمتری خواهند داشت	
	تعداد طبقات	هر چه تعداد طبقات کمتر باشد آسیب پذیری کمتر خواهد بود	
	اندازه قطعات	هر چه اندازه قطعات بزرگتر باشد آسیب پذیری کاهش می‌یابد	
	سطح سرویس ترافیک	هر چه سطح ترافیک عبوری کمتر باشد، آسیب‌پذیری کاهش می‌یابد	
	محصوریت	هر چه محصوریت کمتر باشد، آسیب‌پذیری کاهش می‌یابد	
	سطح اشغال	هر چه سطح اشغال قطعات کمتر باشد، آسیب‌پذیری کمتر خواهد بود	
	فاصله از شبکه معابر	هر چه فاصله از شبکه معابر اصلی کمتر باشد، آسیب پذیری کاهش می‌یابد.	
محیط طبیعی و فضاها و تاسیسات حیاتی	فاصله از مراکز خطر آفرین	هر چه فاصله از مراکز خطر آفرین(پمپ بنزین، صنایع پرخطر و...) بیشتر باشد، آسیب پذیری کاهش می‌یابد.	(محمدی، مغوان،۱۳۹۵) (حبیبی،۱۳۹۰) (سلطانی و همکاران،۱۳۹۳) (امینی و برومند،۱۳۹۰) (مشکینی و دیگران،۱۳۹۲)
	فاصله از گسل	هر چه فاصله از خطوط گسل‌های منطقه بیشتر باشد آسیب‌پذیری کاهش می‌یابد	
	فاصله مراکز آتش نشانی	هر چه فاصله از مراکز آتش نشانی منطقه کمتر باشد آسیب‌پذیری کاهش می‌یابد	
	فاصله از مراکز درمانی	هر چه فاصله از مراکز درمانی منطقه کمتر باشد آسیب‌پذیری کاهش می‌یابد	
	فاصله از مراکز با قابلیت پشتیبانی و امدادرسانی	هر چه فاصله از مراکز با قابلیت اسکان موقت(مراکز آموزشی،مذهبی،...) کمتر باشد، آسیب‌پذیری کاهش می‌یابد	
	فاصله از فضای سبز و باز	.هر چه فاصله از فضای سبز و باز بیشتر باشد، آسیب پذیری افزایش می‌یابد	
	فاصله از هلال احمر	هر چه فاصله از مراکز هلال احمر منطقه کمتر باشد آسیب‌پذیری کاهش می‌یابد	
اجتماعی	تراکم جمعیتی	هر چه تراکم جمعیتی منطقه کمتر باشد آسیب‌پذیری کاهش می‌یابد	(لطفی،۱۳۹۱)، (شمس،۱۳۹۰) (محمدی، مغوان،۱۳۹۵) (زمانی و دیگران،۱۳۹۰) (پوراحمد و دیگران،۱۳۹۴)
	تراکم خانوار	هر چه تراکم خانوار کمتر باشد آسیب‌پذیری کاهش می‌یابد	
	فاصله از مراکز برقراری نظم و امنیت	هر چه فاصله از مراکز برقراری امنیت(نیروی انتظامی) کمتر باشد، آسیب پذیری کاهش می‌یابد	
معیارها و زیرمعیارهای پهنه های توسعه اتی در جهت کاهش آسیب زلزله			
کالبدی - فعالیتی	قابلیت اراضی	باتوجه به قابلیت و تناسب کاربری ها برای تبدیل شدن به شهر، اراضی بایر مناسب ترین اراضی برای توسعه شهر، اراضی ساخته شده و اراضی کشاورزی به ترتیب در مراتب بعدی قرار دارند.	(موسوی و همکاران،۱۳۹۵: ۷۶) (موسوی و یزدانی،۱۳۹۴: ۳۷۰) (حسینی و همکاران (۱۳۹۱: ۹۸) (تقوایی و همکاران،۱۳۹۲: ۳۶)
	کاربری های ناسازگار	با افزایش فاصله از کاربری های ناسازگار، بر وزن و امتیاز زمین های شهری افزوده میشود.	
	گورستان	با توجه به اهمیت استقرار گورستان در جهت گسترش آینده ی شهر، به ازای افزایش فاصله از گورستان، بر وزن و امتیاز زمین های شهری افزوده می شود.	
	سطوح ساخته شده شهری	نزدیکی به محدوده های ساخته شده شهری و بهره مندی از خدمات و تسهیلات‌شهری، بر وزن و ارزش اراضی برای توسعه آتی افزوده میشود.	
مخاطرات طبیعی	فاصله از گسل	هر چه فاصله از گسل بیشتر باشد، آن اراضی دارای موقعیت بهتر برای توسعهٔ آتی است.	(حسینی و همکاران (۱۳۹۱: ۹۸) (موسوی و یزدانی،۱۳۹۴: ۳۷۰) (موسوی و همکاران،۱۳۹۵: ۷۶) Maantay and) (Marako,2008:5 (تقوایی و همکاران،۱۳۹۲: ۳۶)
	توپوگرافی	هرچه توپوگرافی (سطوح ارتفاعی) کمتر باشد، مطلوبیت توسعه آتی آن اراضی بیشتر است.	
	شیب	اراضی با شیب کمتر، مناسب ترین اراضی برای توسعه ی آتی هستند.	
	هیدورگرافی	رودخانه به دلیل داشتن چشم انداز زیبا و تأثیر رودخانه در تلطیف هوای محیط، اراضی نزدیک به آن از بیشترین امتیاز جهت توسعه ی آتی برخوردار است	
زیرساخت های شهری	دسترسی به شبکه خیابان اصلی	به ازای کاهش فاصله از شبکه ارتباطی اصلی (بزرگراه شهری)، از وزن اراضی برای گسترش آتی افزوده خواهد شد.	(موسوی و همکاران،۱۳۹۵: ۷۶) (مظفری،اولی زاده، ۱۳۸۶: ۱۵) (حسینی و همکاران (۱۳۹۱: ۹۸) (تقوایی و همکاران،۱۳۹۲: ۳۶) (موسوی و یزدانی،۱۳۹۴: ۳۷۰)
	دسترسی به منابع آبی	هرچه فاصله از منابع آبی کمتر باشد، مطلوبیت توسعه آتی آن اراضی بیشتر است.	
	دسترسی به خطوط انتقال برق فشار قوی	دسترسی اسان اراضی به خطوط انتقال برق به واسطه کاهش هزینه های جانبی آن، از وزن بیشتری برای توسعهٔ آتی برخوردارند.	

ماخذ: نگارندگان براساس منابع ذکرشده

روش‌شناسی تحقیق

روش تحقیق این مطالعه توصیفی-تحلیلی است و جمع‌آوری داده‌ها، به‌صورت کتابخانه‌ای (اسناد، نقشه‌ها و تصاویر ماهواره‌ای Google Earth) و میدانی صورت گرفته است. جهت شبیه‌سازی توسعه آتی از روش CA-Markov در نرم‌افزار IDRISI 17 استفاده‌شده است. همچنین از مدل ترکیبی FUZZY-AHP و نرم‌افزارهای ARCGIS و Expert Choice برای محاسبه وزن زیرمعیارها و فازی سازی لایه‌ها بهره برده شده است. ارزیابی آسیب‌پذیری محدوده در برابر زلزله نیز با استفاده از روش WOI در نرم‌افزار ARCGIS صورت می‌گیرد و وزن دهی و اولویت‌بندی زیرمعیارهای آسیب‌پذیری بر اساس روش آزمون فریدمن و در نرم‌افزار SPSS بر اساس نظرات کارشناسی اخذشده در پرسشنامه‌ها انجام می‌شود. برای انجام تحقیق حاضر پس از شناسایی معیارهای مؤثر در آسیب‌پذیری شهرها در برابر زلزله، نقشه‌های موضوعی از زیرمعیارها تهیه خواهد شد. در ادامه با انجام مقایسه زوجی بر

اساس نظرات کارشناسی، وزن این زیرمعیارها در نرم‌افزار Expert Choice محاسبه خواهد شد و درنهایت با استفاده از روش WOI لایه‌ها به همراه وزن خود در نرم‌افزار ARCGIS روی‌هم اندازی خواهند شد تا پهنه‌های آسیب‌پذیر شناسایی شود. در ادامه با استفاده از مدل ترکیبی FUZZY-AHP پهنه‌های توسعه شناسایی می‌شود. ابتدا معیارها و زیرمعیاهای توسعه آتی شهرها شناسایی‌شده و بعد از انجام مقایسه زوجی، آماده‌سازی و مقیاس سازی و رستری کردن لایه‌ها و زیرمعیاها جهت فازی سازی آن‌ها با استفاده از توابع فازی اقدام می‌شود. بعد از فازی سازی و مشخص شدن وزن هر لایه، جمع‌بندی مناسبی از پهنه‌های توسعه آتی ارائه خواهد شد. درنهایت با توجه به نقشه توسعه آتی بر اساس سلول‌های خودکار و زنجیره مارکوف، نقشه آسیب‌پذیری محدوده و پهنه‌های مناسب توسعه، ارزیابی از چگونگی نحوه توسعه آتی ناحیه، ارائه می‌شود. فرآیند انجام تحقیق درتصویر ۲، نمایش داده شده است.



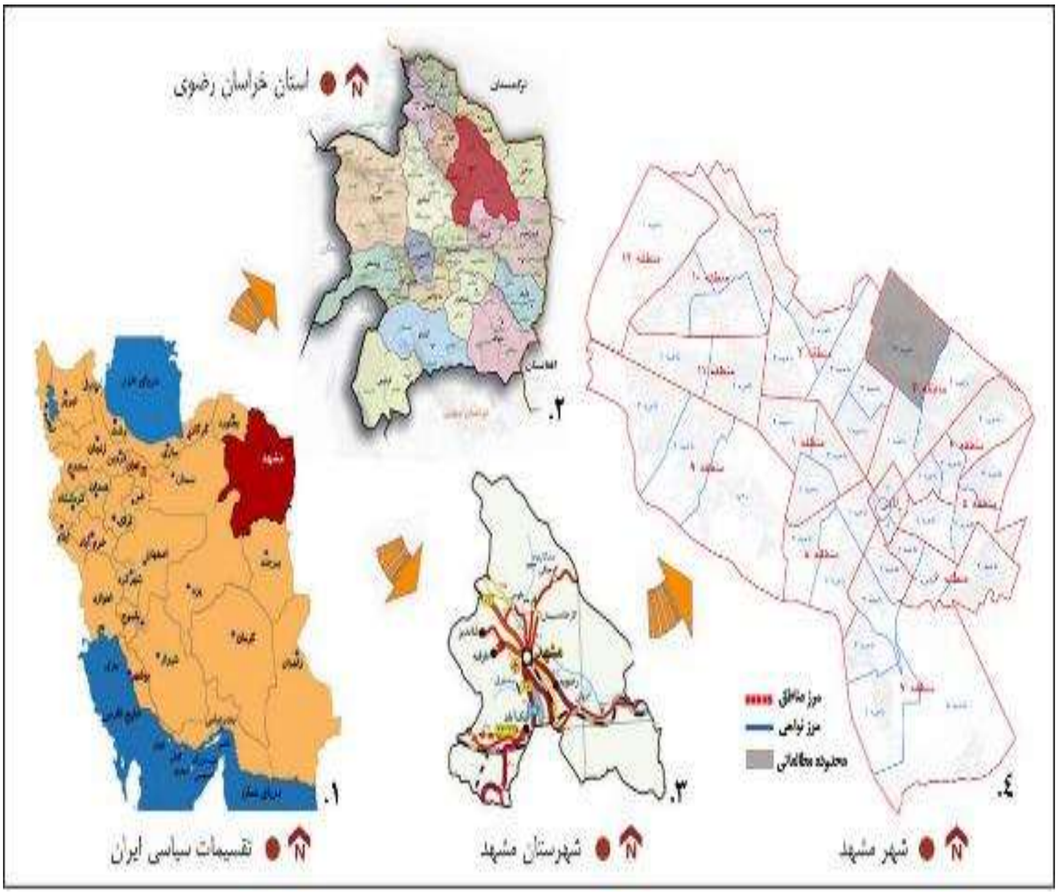
تصویر ۲. فرآیند انجام تحقیق

ماخذ: نگارندگان

معرفی ناحیه مطالعاتی

هستهٔ اولیهٔ شهر مشهد به‌تدریج از به هم پیوستن سه آبادی یعنی شهر نوغان، قریهٔ سناباد و مجموعهٔ حرم مطهر حضرت رضا (ع) به وجود آمد. شهر مشهد، دومین کلان‌شهر مذهبی جهان بعد از مکه و دومین کلان‌شهر کشور با جمعیت ۲,۷۶۶,۲۵۸ نفر و مساحت ۳۰۵۱۷ هکتار بر اساس سرشماری سال ۹۰ است.

مناطق و نواحی شهر مشهد طی دهه‌های اخیر با گسترش فیزیکی و جمعیتی روبه‌رو بوده‌اند که می‌توان به ناحیه ۳ منطقه ۳ اشاره کرد. ناحیه مذکور در شمال شرقی شهر مشهد و ضلع غربی منطقه مذکور واقع‌شده است. این ناحیه دارای سه محله و طبق سرشماری سال ۱۳۹۰ دارای جمعیت ۱۱۷,۸۱۰ نفر و مساحت ۹۴۴,۱ هکتار است. حدود ۵۰ درصد از مساحت ناحیه را اراضی غیر خالص شهری نظیر اراضی مزروعی، بایر، باغات و... تشکیل می‌دهند. مساحت مسکونی ناحیه در حدود ۳۷۴ هکتار (حدود ۲۵ درصد از کل مساحت ناحیه) است. این ناحیه طی سال‌های گذشته طی دگرگونی‌های کالبدی و فضایی دچار توسعه بی‌رویه و البته خارج از ضابطه شهرسازی و قانونی شده است و محلات و بافت‌های آن فرسوده و تحت تصرف اسکان غیررسمی درآمده و روزبه‌روز نیز برشدت آن نیز افزوده می‌شود. فرسودگی ناحیه سبب کاسته شدن از کارایی و مطلوبیت ناحیه شده و در هنگام وقوع بحران زلزله نیز دچار آسیب‌های فراوان مالی و جانی می‌شود؛ بنابراین شناسایی و هدایت پهنه‌های مناسب توسعه آتی ناحیه به‌منظور کاهش آسیب‌پذیری لرزه‌ای آن ضروری است؛ که در ادامه مقاله با استفاده از سلول‌های خودکار (CA) و روش‌های AHP-FUZZY انجام می‌شود.



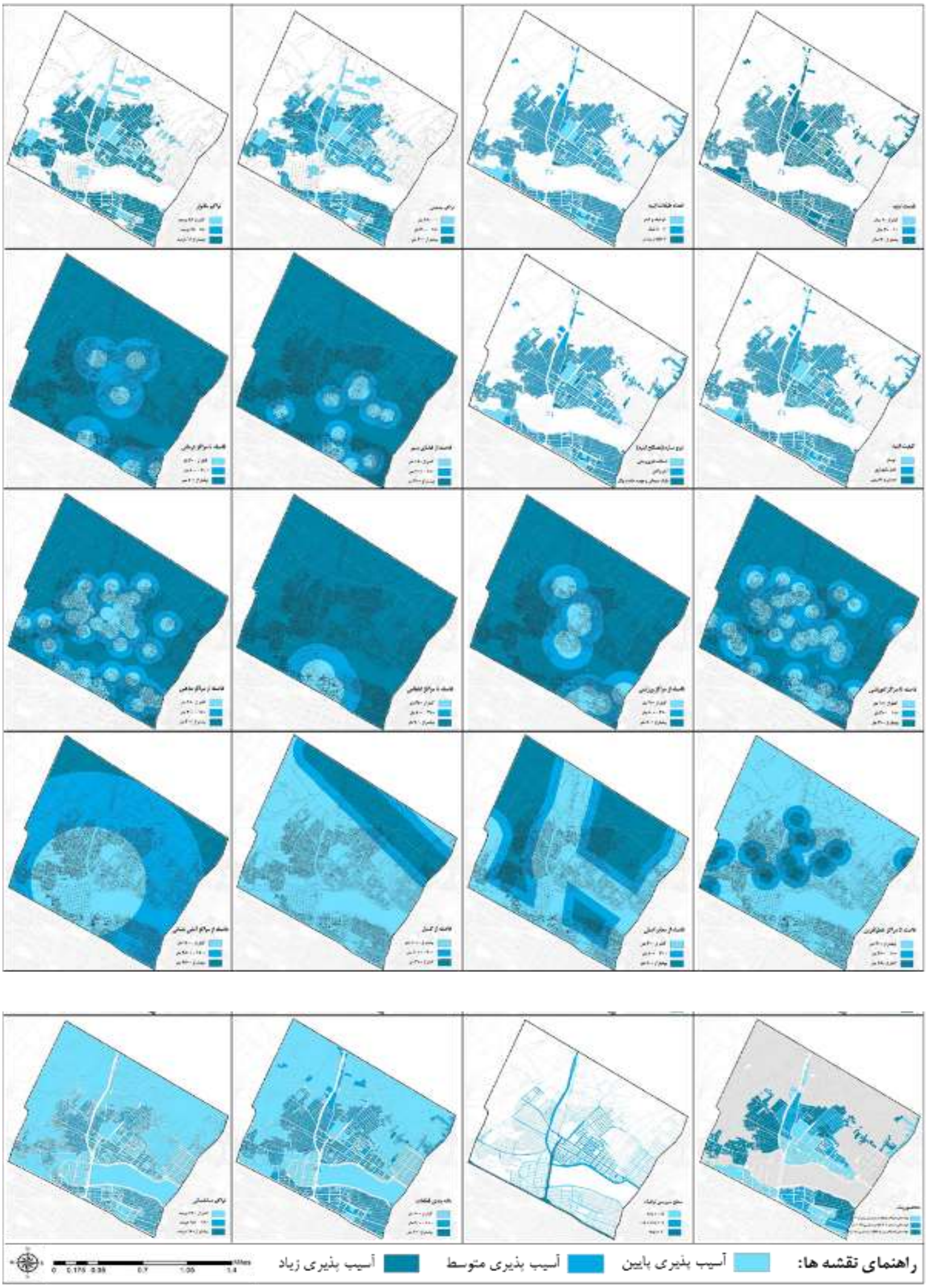
تصویر۳. معرفی محدوده موردمطالعه
ماخذ: نگارندگان

یافته‌های تحقیق و تجزیه‌وتحلیل نتایج

❖ آسیب‌پذیری ناحیه در برابر زلزله

در این بخش از تحقیق، ابتدا آسیب‌پذیری لرزه‌ای ناحیه بر اساس زیرمعیارهای تحقیق در قالب سه دسته آسیب‌پذیری کم، متوسط و زیاد مطابق شکل ۴، ارزیابی و دسته‌بندی‌شده است.

در ادامه با جمع‌بندی صورت گرفته از نقشه‌های موضوعی زیرمعیارها، نقشه آسیب‌پذیری کلی محدوده با توجه به وزن هر یک از زیرمعیارها مطابق شکل ۵، خروجی گرفته می‌شود



تصویر ٤. آسیب‌پذیری محدوده بر اساس شاخص‌های پژوهش

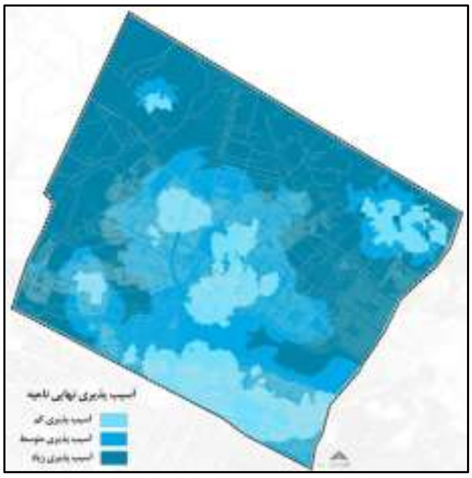
ماخذ: نگارندگان براساس اطلاعات طرح تفصیلی حوزه شمال شرق

در ادامه با توجه به نظرسنجی انجام‌شده از متخصصین در ارتباط بااهمیت زیرمعیارهای آسیب‌پذیری ناحیه در برابر زلزله در قالب پرسش‌نامه، نظرات در نرم‌افزار SPSS جمع‌بندی شد و با بهره‌گیری از آزمون فریدمن اولویت و وزن زیرمعیارهای آسیب‌پذیری مطابق جدول ۲، محاسبه شد. در ادامه نقشه‌های زیرمعیارهای تحقیق در نرم‌افزار ARCGIS با استفاده از روش WOI، مطابق شکل ۵ روی‌هم اندازی شد. بر این اساس مطابق جدول ۳، بیش از محدوده ۸۰ درصد از محدوده دارای آسیب‌پذیری متوسط و زیاد در برابر زلزله می‌باشند

جدول ۲. اولویت‌بندی زیرمعیارهای آسیب‌پذیری

رتبه	زیرمعیار	وزن	رتبه	زیرمعیار	وزن
۱	تراکم جمعیتی	۰٫۰۹۴	۱۱	فاصله از کاربری مذهبی	۰٫۰۴۶
۲	دانه بندی	۰٫۰۸	۱۲	فاصله از کاربری آتش نشانی	۰٫۰۴۳
۳	تراکم ساختمانی	۰٫۰۶۴	۱۳	فاصله از کاربری درمانی	۰٫۰۴۰
۴	گسل	۰٫۰۵۹۶	۱۴	نوع سازه	۰٫۰۳۹۶
۵	تراکم خانوار	۰٫۰۵۹۳	۱۵	فاصله از کاربری‌های سبز	۰٫۰۳۹۴
۶	تعداد طبقات	۰٫۰۵۵۸	۱۶	کیفیت ابنیه	۰٫۰۳۸
۷	عمر بنا	۰٫۰۵۵۶	۱۷	سطح ترفیک	۰٫۰۳۶
۸	فاصله از معابر اصلی	۰٫۰۵۲	۴۸	فاصله از کاربری ورزشی	۰٫۰۳۵
۹	محصوریت	۰٫۰۴۸	۴۹	فاصله از پمپ بنزین	۰٫۰۳۴
۱۰	فاصه از کاربری انتظامی	۰٫۰۴۷۷	۲۰	فاصله از کاربری‌های آموزشی	۰٫۰۳۳

ماخذ: نگارندگان



تصویر ۵. نقشه آسیب‌پذیری کلی ناحیه در برابر زلزله

ماخذ: نگارندگان

جدول ۳. میزان آسیب‌پذیری محدوده در برابر زلزله

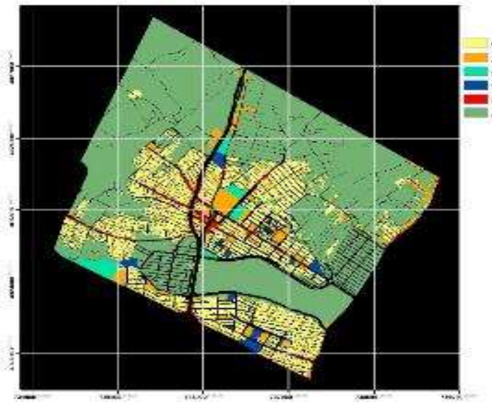
آسیب‌پذیری لرزه‌ای نهایی ناحیه مطالعاتی	مساحت (هکتار)	درصد از مساحت	نمودار
آسیب‌پذیری پایین	۱۲۷٫۶	۱۳٫۵	
آسیب‌پذیری متوسط	۲۹۶٫۰	۳۱٫۴	
آسیب‌پذیری بالا	۵۲۰٫۵	۵۵٫۱	
مجموع	۹۴۴٫۱	۱۰۰	

ماخذ: نگارندگان

❖ پیش‌بینی گسترش کالبدی بر اساس روند موجود

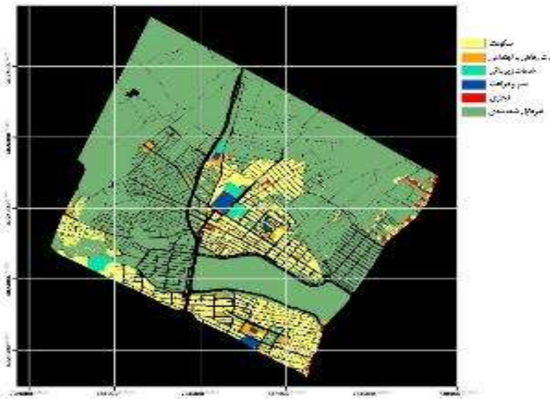
در این پژوهش به‌منظور ایجاد لایه اطلاعاتی پایه برای تجزیه‌وتحلیل مورد هدف، از داده‌های رستری و وکتوری مربوط به محدوده استفاده‌شده است. این داده‌ها شامل عکس‌های ارتوفوتو (Orthophoto) مربوط به سال‌های ۱۳۸۰ و ۱۳۹۰ تهیه‌شده توسط شهرداری مشهد و همچنین نقشه‌های کاربری اراضی در سال‌های ۱۳۸۰ و ۱۳۹۰ می‌باشند. در ادامه طبقه‌بندی کاربری‌ها در شش مقوله شامل سکونت، خدمات رفاهی و اجتماعی، خدمات زیربنایی، سبز و فراغت، تجاری و غیرقابل طبقه‌بندی در نرم‌افزار ARCGIS انجام‌شده است. لایه‌های اطلاعاتی پس از پردازش به‌عنوان داده‌های خام برای تجزیه‌وتحلیل

وارد نرم‌افزار IDRIS 17 شده است. در این نرم‌افزار پس از ویرایش و باز طبقه‌بندی لایه‌های رستری، نقشه‌های کاربری اراضی مطابق شکل‌های ۶ و ۷ در سال‌های ۱۳۸۰ و ۱۳۹۰ تهیه شد که درواقع تحلیل آن‌ها پایه شناخت قواعد تبدیل کاربری زمین می‌باشند. بدین منظور با استفاده از مدول MARKOV که در این نرم‌افزار تعبیه‌شده است، از طریق تحلیل دولایه رستری پوشش زمین در دو بازه زمانی مختلف، ماتریس احتمال تبدیلات تولید می‌شود، با استفاده از این ماتریس می‌توان به پیش‌بینی تغییرات کاربری‌ها در بازه زمانی مدنظر پرداخت.



تصویر ٦. لایه رستری از کاربری سال ۱۳۹۰

ماخذ: نگارندگان



تصویر ۷. لایه رستری از کاربری سال ۱۳۸۰

ماخذ: نگارندگان

بنابراین با مقایسه لایه‌های کاربری اراضی موجود تهیه‌شده در نرم‌افزار برای سال‌های ۱۳۸۰ و ۱۳۹۰ از طریق مدل مارکوف، به ماتریس احتمال تبدیلات مطابق جدول ۴، دست‌یافته و در مرحله بعد با استفاده از مدول CA-MARKOV که درواقع اتوماسیون سلولی بر پایه زنجیره مارکوف است، به پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی در بازه زمانی ده‌ساله از ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰ پرداخته‌شده است. CA-MARKOV فرآیند پیش‌بینی تفصیلی کاربری زمین مبتنی بر اتوماسیون سلولی، زنجیره مارکوف و روش‌های ارزیابی چند معیاره است که عنصر ارتباط فضایی و همچنین چگونگی بخشایش فضایی قوانین انتقال را به تحلیل زنجیره مارکوف می‌افزاید.

جدول ٤. ماتریس احتمالات تبدیل کاربری اراضی در سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۰ بر اساس زنجیره مارکوف

غیرقابل طبقه‌بندی	تجاری	سبز تفریحی	زیربنایی	خدمات -رفاهی	سکونت	۱۴۰۰
۰٫۰۸۶۲	۰٫۰۰۲۴	۰	۰٫۰۱۵۸	۰٫۰۳۵۲	۰٫۸۶۰۴	سکونت
۰٫۰۶۰۷	۰٫۰۶۰۷	۰٫۰۰۲۸	۰٫۰۳۸۵	۰٫۸۱۶۲	۰٫۰۷۵۱	خدمات رفاهی
۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۹۸۶	۰٫۰۱۳۵	۰٫۰۰۰	خدمات زیربنایی
۰٫۰۳۲۵	۰٫۳۸۳۱	۰٫۰۸۴۴	۰٫۰۱۹۵	۰٫۳۱۸	۰٫۱۶۲	سبز و تفریحی
۰٫۰۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۴۷۲۲	۰٫۱۱۱	۰٫۴۰۹۷	تجاری
۰٫۳۰۵۷	۰٫۰۰۲۴	۰٫۰۰۴۷	۰٫۵۷۳	۰٫۱۰۳	۰٫۰۱۰۱	غیرقابل طبقه‌بندی

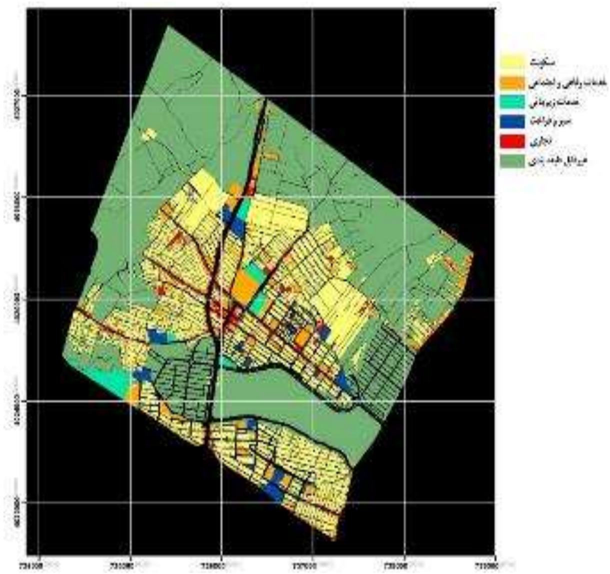
ماخذ: نگارندگان

خروجی شبیه‌سازی در قالب مدل CA-MARKOV در جدول ۵ و شکل ۸ قابل‌مشاهده است. نکته قابل‌توجه در این مطالعه افزایشی است که در سطح کاربری سکونتی اتفاق افتاده است. این رشد و توسعه به‌طورکلی در مساحت کاربری سکونتی از سال ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰ در حدود، ۱۰ هکتار است. به‌طورکلی رشد و توسعه در سطح محدوده نشان‌دهنده گسترش کالبدی محدوده در بخش غربی و شمال و شمال غربی است و جهت رشد و توسعه را می‌توان در محور شرق به غرب در بخش‌های شمالی محدوده تعریف کرد. در ادامه با توجه به پهنه‌های توسعه پیش‌بینی‌شده و بررسی آسیب‌پذیری انجام‌شده برای این محدوده، پهنه‌های مناسب توسعه با تأکید بر کاهش خطر زلزله پیشنهاد خواهد شد.

جدول ۵. مقایسه مساحت کاربری (هکتار) در سال‌های ۱۳۸۰- ۱۳۹۰-۱٤۰۰ بر اساس پیش‌بینی مدول CA-MARKOV

طبقه بندی کاربری اراضی	سال ۱۳۸۰	سال ۱۳۹۰	سال ۱۴۰۰
سکونت	۵۴۲.۷	۵۹۹.۶۵	۶۰۷.۷۵
خدمات اجتماعی-رفاهی	۸.۴۱	۱۹.۱	۱۹.۸
خدمات زیربنایی	۸۹.۲	۱۰۸.۰۹	۱۱۰
سبز و تفریحی	۰.۹۲	۲۰۷.۶۵	۲۱۶.۴۴
تجاری	۲.۱	۴.۰۸	۴.۶۵
غیرقابل طبقه بندی	۴۱۳.۲۲	۱۱۶.۹۷	۹۹.۱۶

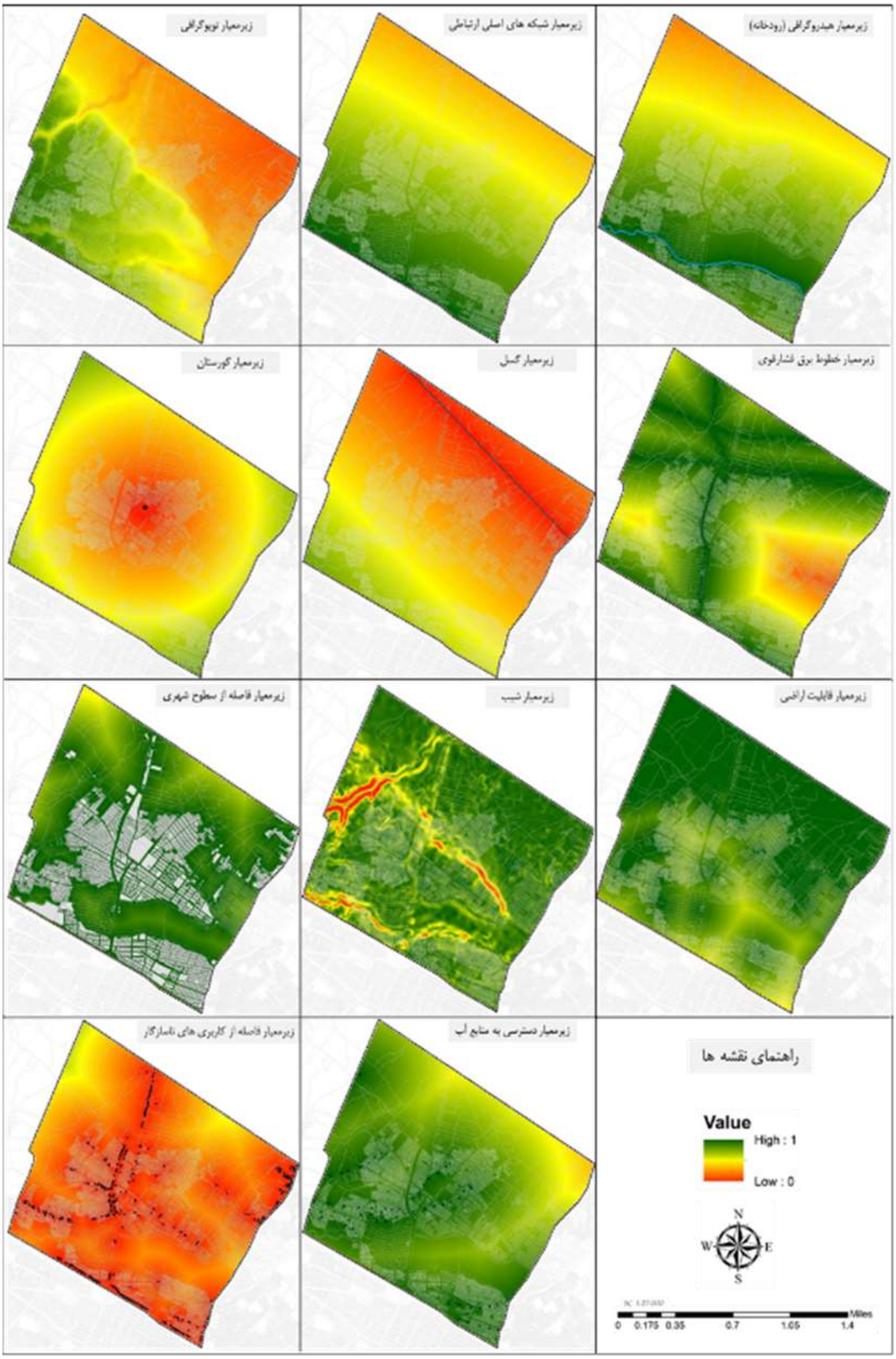
ماخذ: نگارندگان



تصویر۸. لایه رسترسی از پیشنهاد کاربری اراضی در سال ۱٤۰۰
ماخذ: نگارندگان

❖ پیش‌بینی پهنه‌های مناسب توسعه آتی

برای پیش‌بینی پهنه‌های توسعه آتی ابتدا نقشه‌های موضوعی مطابق شکل ۹، برای هر یک از زیرمعیارهای تحقیق تهیه می‌شود. در ادامه تمامی نقشه‌ها استانداردسازی (فازی سازی) شد (در این تحقیق با توجه به ماهیت زیرمعیارها، از روش linear در دستور عملیاتی Fuzzy Membership، استفاده‌شده است).



تصویر ۹. نقشه‌های فازی شده زیرمعیارهای پیش‌بینی جهات توسعه آتی ناحیه

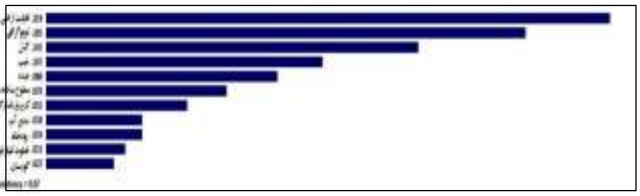
ماخذ: نگارندگان براساس اطلاعات طرح تفصیلی حوزه شمال شرق

در ادامه روند، با استفاده از روش سلسله مراتبی و نظرسنجی از متخصصان، وزن زیرمعیارهای پهنه‌های مناسب توسعه آتی مطابق جدول ۶ و شکل ۱۰، در نرم‌افزار Expert Choice محاسبه شد؛ که بر اساس آن قابلیت اراضی (۰,۲۱۸)، توپوگرافی (۰,۱۸۵) و فاصله از گسل (۰,۱۴۵)، بیشترین وزن را از بین سایر زیرمعیارها به دست آوردند. برای روی‌هم اندازی نقشه‌های موضوعی، ابتدا این نقشه‌ها با استفاده از دستور raster calculate در وزن‌های خود ضرب شدند و در ادامه با استفاده

جدول ٦. مقایســه دودویی زیرمعیارهای پیش‌بینی پهنه‌ها توسعه آینده

قابلیت اراضی	توپوگرافی	گسل	شیب	جاده	سطح ساخته شده	کاربری ناسازگار	منابع آب	رودخانه	خطوط برق	گورستان
	1.2	2.1	3.2	3.7	3.6	5.0	6.2	4.5	5.0	5.0
		2.5	2.2	2.6	3.1	4.5	5.6	4.3	3.0	4.2
			2.5	2.5	2.6	4.3	4.3	4.3	3.6	3.1
				1.7	2.4	3.2	4.1	3.7	3.4	3.0
					2.0	3.0	3.8	3.5	2.4	2.8
						2.5	3.6	2.5	2.0	2.9
							3.1	2.1	4.3	2.8
								1.4	4.5	1.5
									2.4	2.5
										2.3
Incon: 0.07										

ماخذ: نگارندگان

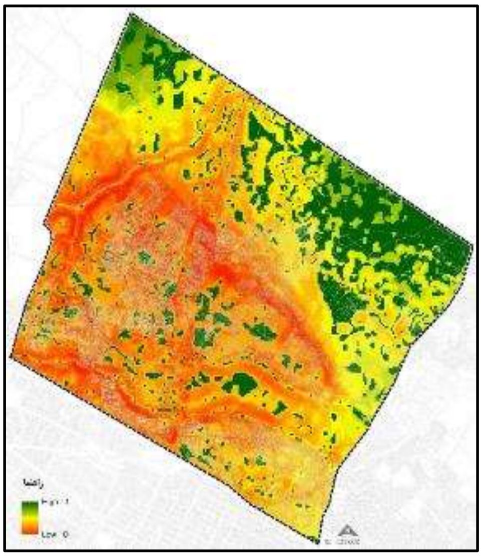


تصویر ۱۰. وزن‌های زیرمعیارها پیش‌بینی توسعه آتی
ماخذ: نگارندگان

جمع‌بندی

شناسایی پهنه‌های مناسب توسعه آتی در جهت کاهش خطر زلزله، هدف اصلی مقاله حاضر بوده است. ازاین‌رو ابتدا مفاهیم مرتبط با مفاهیم موردنظر در تحقیق، موردبررسی قرار گرفت تا معیارها و زیرمعیارها مناسب برای شناسایی پهنه‌های آسیب‌پذیر و پهنه‌های مناسب توسعه آتی تدوین شود. در ادامه آسیب‌پذیری ناحیه موردمطالعه مورد ارزیابی قرار گرفت که این ارزیابی بر اساس تهیه نقشه‌های موضوعی و وزن دهی به نقشه‌های موضوعی بر اساس نظرسنجی از متخصصان انجام‌شده است و درنهایت تمامی نقشه‌های موضوعی وزن‌دار با استفاده از روش WOI در نرم‌افزار ARCGIS روی‌هم گذاری شد تا پهنه‌های آسیب‌پذیر محدوده شناسایی شود. در ادامه برای شناسایی پهنه‌های مناسب توسعه آتی، دو روند مدنظر قرار گرفت. ارزیابی آسیب‌پذیری پهنه توسعه آتی بر اساس روند رشد و گسترش

از عملیات همپوشانی فازی (Fuzzy Overlay) لایه‌های روی‌هم گذاشته می‌شوند. در این پژوهش از عملگر گاما (Gamma) با مقدار ۰,۹ استفاده‌شده است. خروجی روند مذکور (شکل ۱۱) حاکی از آن است که بخش‌هایی از شمال شرقی و شمال غربی محدوده دارای پتانسیل‌های لازم توسعه آتی می‌باشند و بخش‌های جنوب شرقی و جنوب غربی به همراه بخش‌های مرکزی محدوده، پهنه‌های مناسب برای توسعه آتی محسوب نمی‌شوند.



تصویر ۱۱. نقشه نهایی پیش‌بینی پهنه‌های مناسب توسعه آینده
ماخذ: نگارندگان

سال‌های اخیر که با استفاده از روش CA-MARKOV انجام‌شده است و همچنین شناسایی پهنه‌های مناسب توسعه آتی در جهت کاهش خطر زلزله بر اساس شاخص‌ها و مبانی توسعه آتی شهرها که با استفاده از روش FUZZY_AHP انجام می‌گیرد. درنهایت با مقایسه خروجی این دو روند با آسیب‌پذیری کلی ناحیه در برابر زلزله، پهنه‌های مناسب توسعه آتی شناسایی می‌شود. بر اساس تحلیل‌های انجام‌شده، محدوده مطالعاتی ازنظر آسیب‌پذیری در شرایط نامطلوبی قرار دارد، به‌طوری‌که حدود ۸۵ درصد از سطح محدوده دارای آسیب‌پذیری متوسط رو به بالا می‌باشند. همچنین پیش‌بینی رشد و توسعه محدوده بر اساس روند سال‌های گذشته (نقشه کاربری اراضی ۱۳۸۰ و نقشه کاربری اراضی ۱۳۹۰) با استفاده از روش CA-MARKOV، نشان می‌دهد گسترش محدوده در بخش‌های شمالی، شمال غربی و شرق محدوده خواهد بود که این گسترش در بخش‌هایی

اتفاق افتاده که دارای آسیب‌پذیری متوسط و زیاد در برابر زلزله می‌باشند. پیش‌بینی پهنه‌های توسعه با استفاده از روش FUZZY_AHP و بر اساس شاخص‌های مناسب توسعه آتی، نشان داد از بین، زیرمعیارها توسعه، قابلیت اراضی (۰،۲۱۸)، توپوگرافی (۰،۱۸۵) و فاصله از گسل (۰،۱۴۵)، درصد شیب (۰،۱۰۷)، جاده و دسترسی (۰،۰۸۸) و ... بیشترین اولویت را از بین سایر زیرمعیارها به دست آوردند و پهنه‌های مناسب توسعه بر اساس لایه‌های فازی تهیه‌شده و روی‌هم اندازی این لایه‌های وزن‌دار، شمال-شرقی و شمال غربی محدوده است که از میان این دو بخش، پهنه شمال شرقی محدوده با توجه به نقشه آسیب‌پذیری ناحیه که در این پهنه آسیب‌پذیری متوسط و کم سهم بیشتری از محدوده را به خود اختصاص می‌دهد، اولویت بیشتری برای توسعه و رشد دارا است (تصویر ۱۲).



تصویر ۱۲. پهنه‌های مناسب توسعه آتی با تأکید بر کاهش خطر زلزله
ماخذ: نگارندگان

با توجه به نتایج تحقیق می‌توان گفت، رشد و گسترش کالبدی شهر درصورتی‌که بر اساس یک برنامه و هدف از قبل مدیریت‌شده نباشد، مسئله نگران‌کننده‌ای خواهد و می‌تواند تبعات زیادی برای شهرها به همراه داشته باشد. شبیه‌سازی رشد و توسعه نمونه موردمطالعه نشان داد، ادامه روند توسعه بر اساس سال‌های گذشته، موجب شکل‌گیری پهنه‌های توسعه در بخش‌هایی با آسیب‌پذیری متوسط و زیاد در برابر زلزله خواهد شد. لذا مدیران شهری می‌توانند با توجه به مفاهیم گوناگون در کنار رشد و گسترش کالبدی شهرها، پهنه‌های مناسب توسعه را بر اساس اهداف از پیش تعیین‌شده شناسایی کنند که دراین‌بین پرداختن به بحث زلزله و پیامدهای ناشی از آن می‌تواند موجب کاهش هزینه‌های مالی و جانی شهرها شود و آن‌ها را با سمت پایداری بیشتر سوق دهد.

فهرست منابع

- امینی، الهام و همکاران (۱۳۹۰)، «بررسی نقش الگوی بافت شهر در کاهش آسیب‌های کالبدی ناشی از زلزله (نمونه موردی: شهرک غرب و درکه)»، فصلنامه آمایش محیط، دوره ۵، شماره ۱۷، صص ۱۱۱-۱۳۰.
- اصغری زمانی، اکبر و همکاران (۱۳۹۳)، «ارزیابی تحلیلی گستردگی فضایی-کالبدی مناطق شهری و تأثیر آن بر تغییرات کاربری اراضی با استفاده از GIS و RS (مطالعه موردی: شیراز طی دوره زمانی ۱۳۶۶-۱۳۹۲)»، نشریه فضای جغرافیایی، دوره شانزدهم، شماره ۵۳، صص ۵۷-۷۶.
- پوراحمد، احمد و همکاران (۱۳۹۵)، «تحلیل شاخص‌های آسیب‌پذیری در بافت‌های فرسوده شهری با رویکرد مدیریت بحران زلزله (مطالعه موردی: محله سیروس تهران)»، پژوهش‌های جغرافیای انسانی، دوره ۴۸، شماره ۱. صص ۳۳-۵۲.
- پورمحمدی، محمدرضا و همکاران (۱۳۹۲)، «پدافند غیرعامل و ضرورت ایجاد کاربری‌های چندمنظوره: رویکردی جدید در آینده‌نگری توسعه و امنیت پایدار شهری با تأکید بر زلزله‌خیزی شهر تبریز»، پژوهش‌های جغرافیای انسانی، دورهٔ ۴۹، شمارهٔ ۲، صص ۲۸۱ – ۲۱.
- تقوایی، مسعود و همکاران (۱۳۹۲)، تحلیل فضایی توسعه فیزیکی شهر اقلید با استفاده از روش AHP، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۸، شماره ۳، صص ۳۱-۵۲.
- حاتمی نژاد، حسین و همکاران (۱۳۹۱)، «توسعه کالبدی-فضایی شهر ورزنه و ارائه راهبردهای توسعه آتی شهر»، مجله علمی-پژوهشی آمایش سرزمین، دوره چهارم، شماره دوم، صص ۵۳-۷۴.
- حبیبی، کیومرث (۱۳۸۸)، آسیب‌پذیری شهری و GIS، انتشارات دانشگاه امام حسین (ع)، تهران.
- حسینی، سید علی و همکاران (۱۳۹۲)، تحلیل روند توسعه فضایی و تعیین جهات بهینه توسعه شهر رشت با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی، پژوهش‌های جغرافیای انسانی، دوره ۴۵، شماره ۲، صص ۸۳-۱۰۴.
- رضویان و همکاران (۱۳۹۰)، «نقش برنامه‌ریزی کاربری اراضی شهری در کاهش خسارات ناشی از زلزله»، اولین کنفرانس ملی جغرافیا، گردشگری، منابع طبیعی و توسعه پایدار، تهران.
- رضویان، محمدتقی (۱۳۸۱)، برنامه‌ریزی کاربری اراضی شهری، انتشارات منشی، تهران.

- زبردست، اسفندیار و عسل محمدی (۱۳۸۴)، «مکان‌یابی مراکز امدادرسانی در شرایط وقوع زلزله با استفاده از GIS و روش ارزیابی چندمعیاری AHP»، نشریۀ هنرهای زیبا، دوره ۲۱، شماره ۲۱، صص ۵-۱۶.
- شیعه، اسماعیل (۱۳۷۵)، مقدمه‌ای بر مبانی برنامه‌ریزی شهری، انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران.
- شریف زادگان، محمدحسین و فتحی، حمید (۱۳۸۸)، «طراحی و کاربرد مدل‌های فضایی ارزیابی و تحلیل آسیب‌پذیری لرزه‌ای و مدیریت شهری، مجله صفه، دوره ۱۷، شماره ۴۶، صص ۱۰۹-۱۲۴.
- علی‌اکبری، اسماعیل و میرایی، نفیسه (۱۳۹۴)، «آسیب‌شناسی و پهنه‌بندی لرزه‌ای بافت شهری (مطالعه موردی: شهرک ولیعصر تبریز)»، نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی، سال ۱۹، شماره ۵۴، صص ۲۱۱-۲۳۳.
- عبدالهی، مجید (۱۳۸۳)، مدیریت بحران در مناطق شهری، مجموعه مقالات همایش مسائل شهرسازی ایران، انتشارات دانشکدۀ هنر و معماری دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.
- عزیزی، محمدمهدی واکبری، رضا (۱۳۸۷)، «ملاحظات شهرسازی در سنجش آسیب‌پذیری شهرها از زلزله (مطالعه موردی، منطقه فرحزاد تهران)»، نشریه هنرهای زیبا، شماره ۳۴، صص ۲۵-۳۶.
- عسگری، علی و همکاران (۱۳۸۱)، «کاربرد روش‌های برنامه‌ریزی شهری (کاربری زمین) در کاهش آسیب‌پذیری خطرات زلزله با GIS (مطالعۀ موردی: منطقۀ ۱۷ تهران)»، مجلۀ تحقیقات جغرافیایی، دوره ۱۷، شماره ۴، صص ۶۳-۷۸.
- فرجی سبکبار، حسنعلی و همکاران (۱۳۹۳)، «ارائه مدل پهنه‌بندی آسیب‌پذیری شهر اهواز با استفاده از مدل مرتب‌سازی گزینه‌ها مبتنی بر پروفایل (SSP)»، دو فصلنامه مدیریت بحران، دوره ۳، شماره ۲، صص ۴۵-۵۶.
- قرخلو، مهدی و همکاران (۱۳۸۹)، «مکان‌یابی توسعه فیزیکی شهر بابلسر بر مبنای شاخص‌های طبیعی»، جغرافیا و توسعه، شماره ۲۳، صص ۹۹-۱۲۲.
- قربانی، رسول و باقری، کریم (۱۳۸۵)، «تأثیر طراحی مناسب شهرسازی در کاهش تلفات زلزله با تأکید بر نمونۀ بم»، مجموعه مقالات کنفرانس بین‌المللی مخاطرات زمین، بلایای طبیعی و راهکارهای مقابله با آن، دانشگاه تبریز، تبریز.
- کریمی، مرتضی و نجفی، اسماعیل (۱۳۹۴)، «ارزیابی خطر زلزله با استفاده از مدل ترکیبی FUZZY_AHP در امنیت شهری»، مجله پژوهش و برنامه‌ریزی شهری، سال ششم، شماره بیستم، صص ۱۷-۳۴.
- لینچ، کنت (۱۳۸۶)، روابط متقابل شهر و روستا در کشورهای درحال‌توسعه، ترجمه محمدرضا رضوانی و داود شیخی، انتشارات پیام، تهران.
- موسوی، میر نجف و یزدانی چهار برج، رسول (۱۳۹۴)، «تحلیل تناسب کاربری اراضی برای توسعه شهر تبریز با استفاده از مدل AHP_OWA»، پژوهش‌های جغرافیای برنامه‌ریزی شهری، دورۀ ۳، شمارۀ ۳، صص ۳۶۱-۳۸۱.
- مشک ساز، پریسا و همکاران (۱۳۹۲)، «ارزیابی آسیب‌پذیری فیزیکی بافت‌های شهری در برابر زلزله درروش RADIUS»، پژوهش‌های جغرافیایی برنامه‌ریزی شهری، دوره ۱، شماره ۱، صص ۱۱۵-۱۲۹.
- مظفری، غلامعلی و اولی زاده، انور (۱۳۸۶)، «بررسی وضعیت توسعه فیزیکی شهر سقز و تعیین جهات بهینه توسعه آتی آن»، مجله محیط‌شناسی، سال ۳۴، شماره ۴۷، صص ۱۱-۲۰.
- مشکینی، ابوالفضل و همکاران (۱۳۹۲)، «تحلیل آسیب‌پذیری بافت شهری در برابر زلزله»، پژوهش‌های جغرافیای انسانی، دوره ۴۶، شماره ۴، صص ۸۴۳-۸۵۶.
- محمدی، علیرضا و مغوان، بهمن (۱۳۹۵)، سنجش میزان آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های غیررسمی در برابر خطر وقوع زمین‌لرزه با استفاده از GIS، نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال سوم، شماره ۳، صص ۴۱-۶۴.
- نگارش، حسین (۱۳۸۲)، کاربرد ژئومورفولوژی در مکان گزینی شهرها و پیامدهای آن، مجله جغرافیا و توسعه، ص ۱۳۴-۱۵۰.
- نوذری، شعله (۱۳۸۳)، «رهنمودهای طراحی فضاهای باز مسکونی»، نشریۀ صفه، دوره ۱۴، شماره ۳۹، صص ۴۵-۶۶.
- یان لئو (۱۳۹۲)، مدل‌سازی توسعه شهری با استفاده از سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) و سلول‌های خودکار، ترجمه: محمدکاظم جباری، سیمین احمدی، انتشارات آذر کلک. زنجان، ایران.

- Batisani, N. and Yarnal, B. 2008, Urban expansion in Centre County, Pennsylvania: Spatial dynamics and Landscape transformations, Applied Geography, doi:10.1016/j. apgeog.
- Batty, M. 1997, Cellular Automata and Urban From: A Primer, Journal of the American Planning Association, Vol. 63, No. 2.
- Burby, R., Deyle, R., Godschalk, D. and Olshansky, R., 2000, Creating Hazard Resilient Communities through Land Use Planning, Natural Hazards, May,NO:2,VOL: 1.

- Cheng, J. and Masser, I., 2004, Understanding Spatial and Temporal Processes of Urban Growth, cellular automata modeling.
- Chengtai, D., 1999, Urban Geomorphology in Chinese. P. 391.
- Galderisi, A. and Menoni, S., 2015, Improving the Role of Land Use Planning for Reducing Existing and Future Risks, United Nations International Strategy for Disaster Reduction.
- Jaeger, J.A.G., et al., 2010, Suitability Criteria for Measures of Urban Sprawl, Ecological Indicators, No. 10, PP. 397-406.
- Kaya, S. and Curran, P.J., 2006, Monitoring Urban Growth on the European Side of the Istanbul Metropolitan Area, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, No. 8, PP. 18-25.
- Kityuttachai, K and al ed, 2013, CA-Markov Analysis of Constrained Coastal Urban Growth Modeling. Sustainability 1480-1500.
- Maantay, J. and Maroko, A., 2008, Mapping Urban Risk: Flood Hazards, Race, and Environmental Justice in New York, Applied Geography, Vol. 29, No. 1, PP.111-124.
- Mokarram, M. and Aminzadeh, F., 2007, GIS-Based Multicriteria Land Suitability Evaluation Using Ordered Weight Averaging with Fuzzy Quantifier: A Case Study in Shavur Plain, Iran, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. 38, part 2.
- Muller, M.R. and Middleton, J., 1994, “A Markov Model of Land-Use Change Dynamics in the Niagara Region, Ontario”, Canada Landscape Ecology Vol. 9, No. 2, pp. 151–157.
- Malczewski, J., 2006, Ordered Weighted Averaging with Fuzzy Quantifiers: GIS-Based Multicriteria Evaluation for Land-Use Suitability Analysis, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, No. 8.
- Pinto, N. and Antunes, A. 2007, Cellular Automata and Urban Studies: A Litterature Survey. Architecture, city and Environment, Vol.1.
- Qing, S., et al., 2007, Changing Urban Growth Patterns in a Pro-Smart Growth State: The Case of Maryland, 1973-2002, Lincoln Institute of Land Policy.
- Regional consultative Committee on Disaster Management, 2015, Disaster Risk Reduction and Management in Asia, Co-hosted by The Ministry of Home and Cultural Affairs (MoHCA) and the Department of Disaster Management (DDM), Bhutan; and ADPC with support from the German Government through GIZ.
- Rashed, K. and Weeks, J., 2003, Assessing Vulnerability to Earthquake Hazards through Spatial Multicriteria Analysis of Urban Areas, International Journal of Geographic Information Science, Vol. 19, no. 1, pp. 149-191.
- Stone, Jr. Brian, 2008, Urban Sprawl and Air Quality in Large US Cities, Journal of Environmental Management, No. 86.
- Sietch iping, R., 2004, A Geographic Information Systems and Cellular Automata-Based Model of Informal Settlement Growth, School of Anthropology, Geography and Environmental Studies The University of Melbourne.
- Torrens, P. M., 2001, Cellular Automata and Urban Simulation: Where Do We Do from Here? Environment and Planning B. 28 (2):163-168.
- Wolk-Musial, E. and Zagajewski, B., 1999, Environmental Remote Sensing, Remote Sensing of Environment Laboratory, Faculty of Geography and Regional Studies, University of Warsaw, Poland.
- Zhao, P., 2010, Sustainable Urban Expansion and Transportation in a Growing Megacity: Consequences of Urban Sprawl for Mobility on the Urban Fringe of Beijing, Habitat International, Vol.34, No.2, pp.236-243.